DIE NATURWISSENSCHAFTEN

17. Jahrgang | 22. März 1929 | Heft 12

Ungarische Steppenprobleme.

Von Otto Stocker, Bremerhaven.

1. Klima und Pflanzenverteilung.

„In einem halben Jahrhundert wird das romantische Pusztenleben ebenso verschwunden sein wie die Vegetation, die ursprünglich den Steppenboden bekleidete", schrieb A. Kerner[1] im Jahre 1863. Glücklicherweise ist die Befürchtung nicht ganz in Erfüllung gegangen, und wenn auch heute nicht mehr der Schlaf des Pusztenfahrers durch fürchterliche Träume vom Überfall wilder Räuber auf das einsame Pusztengehöft jäh gestört wird, so ist doch die übrige „Romantik" der Puszta auf weiten Strecken noch dieselbe wie sie Kerner in unübertrefflicher Weise geschildert hat. Noch rollt uns der leichte Wagen, mit feurigen Pferden bespannt, über den unendlich gedehnten Pusztenraum, noch stehen die Herden langhörniger Steppenrinder und finster blickender mächtiger Stiere einsam am hochaufragenden Schwengelbrunnen, noch reitet stolz der Hirt in der alten malerischen Tracht auf sattellosem Pferd, noch schlägt der Falke dicht neben dem Wagen den flüchtigen Kiebitz, und noch lebt die alte Gastfreundschaft eines ritterlichen Volkes[1].

Eine auf Grund der heutigen Anordnung der Pflanzenwelt entworfene „bioklimatische Karte" unseres Gebietes ist in Fig. 1 gegeben[2]. Wir sehen im Gebiet des alten Königreiches in durch die Gebirgserhebungen bedingter regionaler Anordnung aufeinander folgen: Die „Nadelwälder" in den höheren, die „Buchenwälder" in den tieferen Lagen der Gebirge und schließlich die „Graswälder", meist in Form von „Eichenmischwäldern", als Saum um die waldlosen Gebiete der „Puszten". Wenn wir von dem besondere Probleme bietenden Steppengebiet in

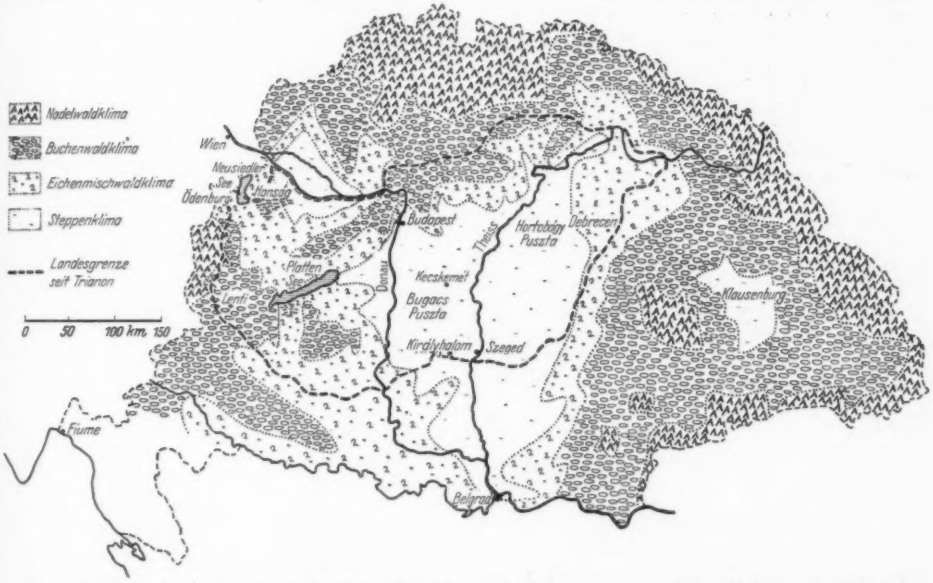

Fig. 1. Bodenregionale Karte von Ungarn. (Nach einer von P. Treitz entworfenen Karte umgezeichnet.)

[1] A. Kerner, Das Pflanzenleben der Donauländer. Innsbruck 1863.

[1] Es ist mir eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle der außerordentlichen Unterstützung und der großartigen Gastfreundschaft zu gedenken, die uns in Ungarn in einem Umfang zuteil geworden ist, der es unmöglich macht, hier einzelne Stellen und Namen zu nennen. Ich fasse daher meinen herzlichen Dank zusammen an die Adresse meines verehrten Freundes, Prof. Dr. D. Fehér in Ödenburg, der die ganze Reise organisiert und mit uns durchgeführt hat.

[2] P. Treitz, Führer zur Informationsreise der III. Kommission Internat. Bodenkundliche Gesellschaft. Budapest 1926.

Siebenbürgen, das auch ganz außerhalb des heutigen Ungarns liegt, absehen, so haben wir das Hauptsteppengebiet in der „großen ungarischen Tiefebene", dem „Alföld" der Magyaren, zwischen Donau und Theiß und östlich der Theiß; ein kleineres und weniger typisches Gebiet liegt in der „kleinen Tiefebene" zwischen Wien und Bakony-Wald.

Die Unterschiede der vier Regionen werden von TREITZ etwa folgendermaßen charakterisiert:

	Jahresniederschlag in mm	Zahl der Regentage	Jährliche Verdunstungsmenge in mm	Jahrestemperatur Grad	Sättigungsdefizit (Summe der Monatsmittel von 8a u. 8p)
Nadelwald	735	120	—	10	22
Buchenwald	740—800	126	—	10,5	23—31
Graswald (Eichenmischwald) .	650—700	100—110	360—450	10—11	31—39
Steppe	540—600	82—100	800—850	11—12	40—60

Da die Zahlen jeweils nur aus wenigen Stationen gewonnen sind, können sie nur den Wert einer annähernden Orientierung beanspruchen. Was aber sogleich auffällt, ist die verhältnismäßig große Regenmenge auch in der Steppenregion. Der weiter gezogene Vergleich der Fig. 2 bestätigt das, wobei betont werden muß, daß das Beispiel

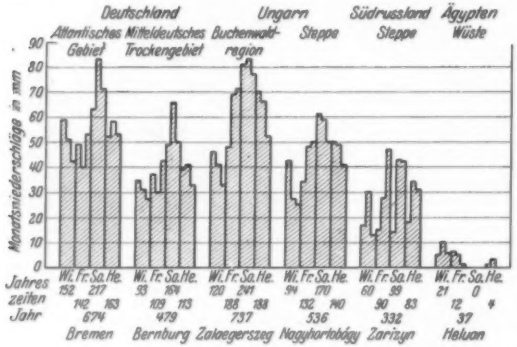

Fig. 2. Vergleichende Darstellung der monatlichen durchschnittlichen Regenmengen im humiden und ariden Klima.

der Hortobágy-Csárda die *untere* Grenze der in den ungarischen Steppen vorkommenden Regenmengen gibt. Auch in der Verteilung der Niederschläge über die einzelnen Monate steht die Puszta dem mitteleuropäischen Waldgebiet viel näher als den Steppengebieten Südrußlands oder gar den nordafrikanischen Wüstengebieten. Viel bedeutender sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen, wenn wir die Kräfte betrachten, die für die Verdunstung des gefallenen Niederschlages entscheidend sind. Als Maß dafür sind in der Tabelle die mittleren Sättigungsdefizite angenommen.

Daß aber, in weiterem Rahmen betrachtet, das Pusztengebiet auch in dieser Hinsicht keine sehr ausgeprägte Stellung einnimmt, zeigt die von A. MEYER entworfene Karte des Quotienten $\frac{\text{Sättigungsdefizit}}{\text{Niederschlag}}$ (Fig. 3), nach der sich die Pusztensteppe im allgemeinen nicht ungünstiger stellt als große Gebiete in Mittel- und Ostdeutschland. Aus den allgemeinen klimatischen Verhältnissen allein kann also kein überzeugender Beweis dafür abgeleitet werden, daß es sich bei der Waldlosigkeit und Steppennatur der heutigen Puszten um eine durch *das Klima bedingte* Erscheinung handelt, und diese Einsicht wird bestätigt durch die Tatsache, daß künstliche Baumpflanzungen überall auf den Puszten möglich sind und tatsächlich bestehen. „Vor allem muß betont werden, daß es im ungarischen Tieflande heutzutage keinen Punkt gibt, von wo aus das Auge nicht zum mindesten kleinere oder größere Gruppen von Bäumen, Alleen, Baumreihen, einzeln stehende Bäume, einen Hain oder dergleichen in mehreren Richtungen erblicken könnte", äußert sich der ungarische Botaniker BERNATZKY[1]. In der Tat ist das Vorkommen wenigstens einzelner Baumgruppen, wenn auch oft nur am fernen Horizont, für den, der einen Vergleich von der wirklich baumlosen Vollwüste her zu gewinnen sucht, ein wesentliches Kennzeichen der ungarischen Steppenlandschaft, eine Eigentümlichkeit, die den Linien der Puszta viel von der grausamen Härte zu nehmen hilft, die in der Wüste auf den Wanderer einen so tiefen Eindruck macht. Für den freilich, der vom nördlicheren Waldgebiet her die Puszta betritt, drängt sich ihr „waldfeindlicher" Charakter mit gleicher Lebhaftigkeit auf. Um zu einem ursächlichen Verstehen dieses schwankenden Übergangscharakters der Puszten zu kommen, müssen wir uns den *Bodenverhältnissen* zuwenden, müssen aber bei der großen Verschiedenheit derselben die Schilderung auf bestimmte Fälle beschränken. Vollständigkeit ist dabei nicht beabsichtigt, ebensowenig eine Aufstellung von Pflanzenlisten, da man Einzelheiten darüber in den Zusammenstellungen von HAYEKS[2] und WOENIGS[3], vor allem aber in den noch immer unübertroffenen Schilderungen A. KERNERS findet.

[1] J. BERNATZKY, Über die Baumvegetation des ungarischen Tieflandes. Festschrift zur Feier des 70. Geburtstages P. ASCHERSON. Leipzig 1904.

[2] A. v. HAYEK, Die Pflanzendecke Österreich-Ungarns. Leipzig und Wien 1916.

[3] FR. WOENIG, Die Pusztenflora der großen ungarischen Tiefebene. Leipzig 1899.

II. Die Alkalisteppe der Hortobágy bei Debrecen.

Das interessanteste ungarische Steppenproblem ist das der Alkalisteppen, das „crux et scandalum" der land- und forstwirtschaftlichen Praktiker. Dieses näher zu studieren, gibt die Hortobágy-Steppe bei Debrecen gute Gelegenheit. Die Hortobágy-Puszta ist für das ungarische Nationalgefühl etwas ähnliches wie die Lüneburger Heide für das deutsche. Rund 1500 qkm dehnt sich der unendliche Grasteppich dieser Steppe von dem Dorf Püspökladány (vgl. Fig. 6) nordwärts bis an die Theiß heran, mit der alten Schenke der Hortobágy-Csárda an der vielbogigen steinernen Brücke über das Hortobágy-Flüßchen als Mittelpunkt. Kein Dorf und kein Acker unterbricht den leichtgewellten kurzrasigen Grasteppich, der in allen Schattierungen, von grün bis braun gemustert, sich rings um den Wanderer bis zum Horizont dehnt, falls nicht die Fata Morgana, „die Zauberin aus dem Süden", in der Ferne wundersame Seen vorzaubert. Aber leer ist die Hortobágy-Puszta keineswegs: 20000 Rinder, 30000 Schafe, 5000 Pferde und 10000 Schweine wurden 1890 auf ihrem Gebiet gezählt, bewacht von 200 Hirten, die sich, je nach der Art des von ihnen betreuten Getiers, in strenge Kasten sondern. Die Hirten schlafen, in ihre Pelze gehüllt, draußen auf dem Erdboden bei ihren Herden, in deren Bewachung sie von bissigen Hunden unterstützt werden. Die hier und da einsam auf der Puszta stehenden kleinen Hirtenhäuser dienen ihnen nur als Vorratsscheunen, neben denen sie in kleinen Schilfhütten ihre Kochstelle haben.

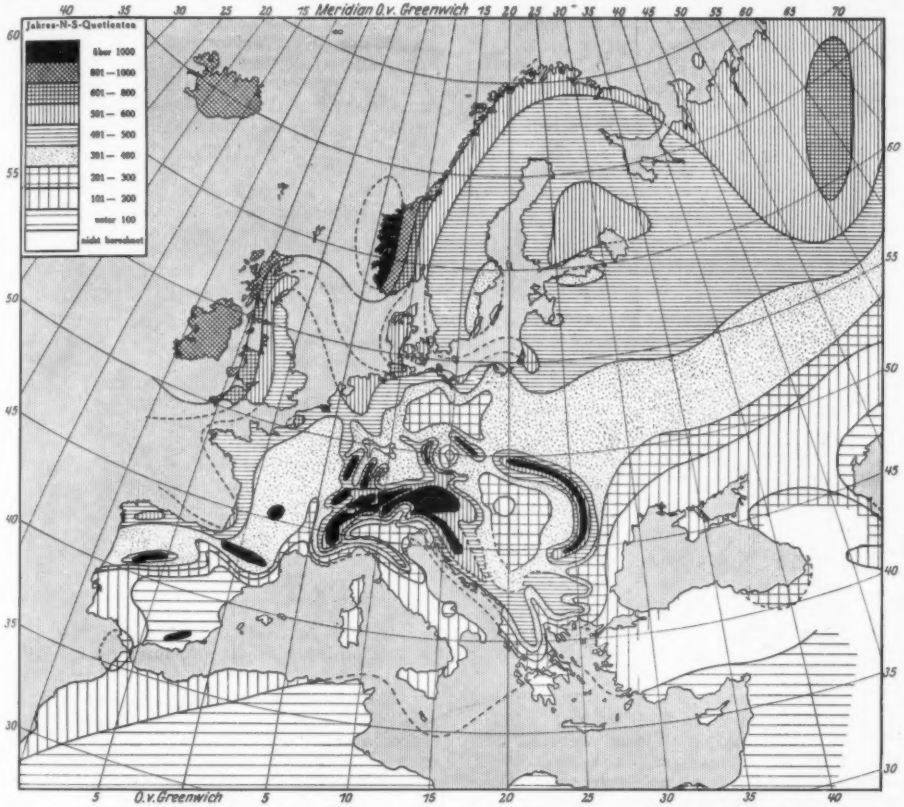

Fig. 3. Karte des Quotienten Niederschlag : Sättigungsdefizit. (Nach A. MEYER).

In bezug auf die Wirtschaftlichkeit des Erträgnisses ist aber die Hortobágy ein „Schandfleck", wie einer unserer liebenswürdigen Führer sich ausdrückte. Die Besetzung mit Vieh ist für die große Fläche nur gering und kann nicht größer sein wegen der schlechten Futterverhältnisse. Nur im Frühjahr erlebt die Puszta eine kurze Blüteperiode. Dann kommt der Sommer, und rasch verbrennt der Rasen zu einem harten und

dünnen Teppich mit bedenklich vielen gelben und braunen Mustern, und wenn dann besonders starke Trockenperioden eintreten, so wird die Lage der Herden äußerst gefährlich. Aus einer anschaulichen Schilderung FR. WOENIGS[1] von einer solchen Trockenperiode entnehme ich folgende Bilder: „Als ich im Sommer 1896 auf der Hortobágy-Steppe weilte, fiel in der Zeit vom 13. Juni bis 1. August nicht ein Tropfen Regen, und die Steppe glich bereits einer Wüste. Der Nachttau blieb aus, Gräser und Kräuter verdorrten in der entsetzlichen Hitze, die sich zeitweilig in den Nachmittagsstunden bis auf 38,5° bis 39° C steigerte. Die Pflanzenmumien verbrannten in der Sonnenglut buchstäblich zu Pulver. Nirgends ein grüner oder bunter Farbenton in diesem graubraunen oder weißlich schimmernden Einerlei. Überall Totenstille, Totenstarre und Vernichtung! Raben, Adler und Weihen flogen träge und stumm über die versengte, schattenlose Fläche hin. Weiße Störche von fernen Puszten standen in Scharen in und um die noch nicht gänzlich ausgetrockneten Sümpfe. Das Knistern der verbrannten Gräser unter meinen Tritten und das Rauschen und Geflatter aufgeschreckter Heuschreckenschwärme waren die einzigen monotonen und traurigen Laute in dieser herzbeklemmenden Einsamkeit. Die dominierenden wetterharten Steppengräser, wie Hordeum murinum L. und Hordeum maritimum With, die zähen Bromus-, Onopordon-, Carduus- und Cirsium-Arten waren gebleicht und spröde wie Glas. Die Tausende und aber Tausende der weidenden Rosse, Rinder und Schafe fanden nicht genügende Nahrung, magerten ab, fielen vor Ermattung um und starben an Kolik und Hitzschlag. Einer meiner ungarischen Freunde verlor im Laufe einer Woche 200 Schweine."

Diese verheerenden Wirkungen der Trockenperioden sind in erster Linie bedingt durch die Beschaffenheit des „Alkalibodens". Man ist stets geneigt, die direkte Wirkung des Klimas auf die Pflanzenwelt zu überschätzen. Die Erfolge der Acker- sowohl wie der Waldkultur im ungarischen Tieflande zeigen aber, daß trotz sommerlicher Trockenperioden und trotz mancher anderer ungünstigen Klimabedingungen — z. B. kommen Nachtfröste bis Mai vor und treten schon Ende September wieder auf — die Gesamtheit der klimatischen Faktoren für das Pflanzenleben durchaus günstig ist, *unter der Voraussetzung eben, daß die Bodenverhältnisse, namentlich in bezug auf die Feuchtigkeit, günstige sind.* Ausgezeichnete Kulturerfolge lassen sich im ungarischen Tieflande *ohne Bewässerung* erzielen; das zu betonen ist wichtig in Hinblick auf die echte Wüste, wo Kultur nur bei künstlicher Bewässerung möglich ist. Die ungarischen Puszten geben demnach eine gute Erläuterung zu dem schon von A. F. W. SCHIMPER[1] ausgesprochenen Satz: „Gehölzklima führt zum Sieg des Gehölzes, Grasflurklima zum Sieg der Grasflur. *In Übergangsklimaten entscheiden edaphische Einflüsse den Sieg.*"

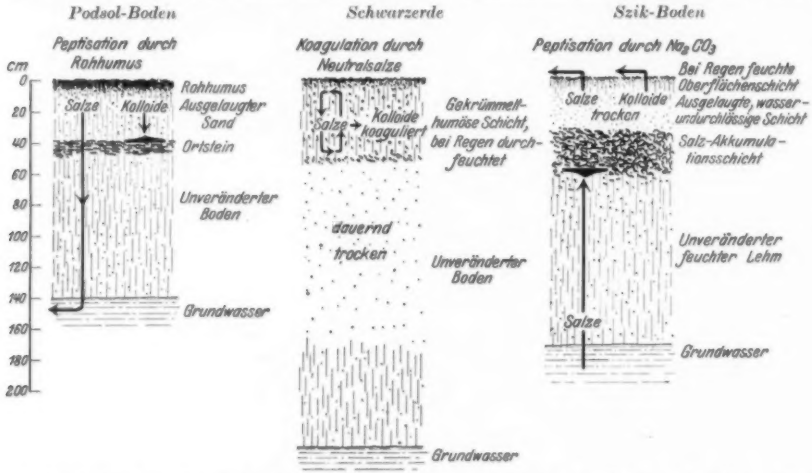

Fig. 4. Schematische Darstellung der Salz- und Kolloidumsetzungen in humiden und ariden Böden. Die wasserführenden Teile der Böden sind durch senkrechte Schraffierung gekennzeichnet.

Die Fig. 4 gibt schematisch ein Bild vom Aufbau des Alkalisteppenbodens, den der Ungar als *Szikboden* bezeichnet, und zieht einen Vergleich mit den guten Steppenböden, als Schwarzerdeböden bekannt, und den für das humide Gebiet kennzeichnenden „Podsolböden". Entscheidend für das Zustandekommen der Szikböden ist ein toniger

[1] FR. WOENIG, l. c., S. 8.

[1] A. F. W. SCHIMPER, Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898, S. 189.

oder lehmiger Mutterboden, auf dem eine Anreicherung von *Soda* stattgefunden hat; auf reinem Sand entstehen ausgesprochene Böden dieser Art nicht. Wie die Anreicherung an Soda zustandekommt, ist noch nicht genügend geklärt. Die Tätigkeit von Bodenmikroorganismen und die Zersetzung abgestorbener Pflanzenteile mag zusammenwirken mit dem Einfluß von CO_2-Exhalationen, wie sie im ungarischen Tieflande in Form von Gasquellen und Säuerlingen häufig sind. Die stark alkalische Sodalösung des Bodenwassers wirkt auf Kolloide peptisierend. Sowohl die Humusbestandteile wie die kolloiden Fe-, Al- und Si-Verbindungen gehen in Lösung und werden ausgewaschen. Die starke Auslaugung haben die Szikböden mit den Podsolböden gemeinsam, nur daß bei den letzteren Rohhumussubstanzen die peptisierende Ursache bilden. Die Auswaschung erfolgt aber in den Szikböden zu einem großen Teil nach oben hin, im Gegensatz zu den meist sandigen Podsolböden, wo die starken Niederschläge die gelösten Kolloide nach unten führen. Für die Auswaschung nach oben ist neben der an und für sich schlechten Wasserdurchlässigkeit der Ton- und Lehmböden der Umstand günstig, daß die sommerliche Trockenperiode eine Salzbewegung im Boden nach der Oberfläche hin bewirkt, und daß die Niederschläge oft in Form sehr heftiger Güsse erfolgen, die die Oberflächensalze lösen und beim Ablauf mit sich fortführen. Hinzu kommen mag der Basenverbrauch durch die Steppenpflanzen, deren Verwesungsreste in den Trockenperioden durch die starken Steppenstürme ebenso verweht werden wie oberflächlich liegende Humus- und Salzteilchen; WOENIG berichtet von einer heftigen Augenentzündung, die er sich auf einer Salzpuszta zuzog, und russische Botaniker nehmen an, daß durch Salzverwehungen an geeigneten Stellen direkte Salzanhäufungen entstehen können. Durch die Wegführung der Kolloide wird aber die Beschaffenheit des Bodens in chemischer und physischer Beziehung grundlegend verändert. In chemischer zunächst dadurch, daß mit der Fortführung der Bodenkolloide des Aluminiums und Siliziums die sog. „Austausch-Zeolithe" verlorengehen, die für die Bindung der wichtigen Pflanzennährsalzionen von größter Bedeutung sind; die Auslaugung des Bodens wird dadurch weiter gefördert. In physikalischer Hinsicht findet eine sehr dichte Lagerung, eine „Verschlämmung" des Bodens statt, das Gegenteil der „Krümmelstruktur" der guten Schwarzerdeböden, in denen die Neutralsalze koagulierend wirken. Die ausgelaugte Szikbodenschicht verhält sich wie ein Quellkörper, der bei Berührung mit Wasser zwar aufquillt, aber das Wasser nur sehr langsam durchläßt. Dem Regenwasser wird so das Eindringen in den Boden, dem Grundwasser der Aufstieg verwehrt; der Grundwasserspiegel liegt nämlich unter den Alkalisteppen, wie die Pusztabrunnen zeigen, meist hoch, und fällt nach TREITZ auch im Sommer und Herbst nur auf 4—5 m. Indem das immer salzhaltige Grundwasser — TREITZ nennt einen Salzgehalt von 2—5 g pro Liter — an der unteren Grenze der ausgelaugten Oberflächenschicht am weiteren Aufstieg gehemmt wird, wird es gezwungen, hier seine Salze anzureichern. Es entsteht so eine harte, salzreiche „Akkumulationsschicht", an der vor allem Kochsalz, Bittersalz, Glaubersalz, Gips und Kalk beteiligt sind (Fig. 4 u. 5).

Wo sich diese Bodenverhältnisse in ausgeprägter Form herausgebildet haben, können auch starke Regengüsse kaum in den Boden eindringen. Nach einer regenreichen Nacht fuhr unser Wagen am 18. Juli auf der Hortobágy durch 20 cm tiefe Wasseransammlungen. Trotzdem konnten wir an vielen Stellen feststellen, daß der Boden nur 1—2 cm tief durchfeuchtet war. Einige Stunden Sonnenschein genügten dann, um bis zum Mittag alles Wasser zu verdunsten. Kurz vorher war ein außergewöhnlich starker, zweitägiger Regenguß, der bearbeitetes Ackerland bis zu 20 cm Tiefe durchnäßte, in viele Szikbodenstellen nur 1 cm tief eingedrungen. Die so auf der Alkalisteppe entstehenden rein oberflächlichen Wasserbewegungen müssen ebensosehr die Auslaugung gewisser Stellen, wie die Versalzung anderer fördern. In

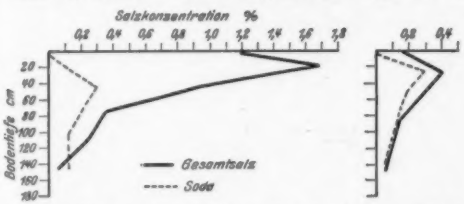

Fig. 5. Zwei typische Salz- und Sodaprofile von Szikböden der Hortobágy-Alkalisteppe. (Nach P. MAGYAR.)

der Tat ist der starke Wechsel der Bodenbeschaffenheit auf kleinstem Raum eine der augenfälligsten Eigentümlichkeiten dieser Salzsteppen, die sich schon von weitem durch das bunte Teppichmuster ihrer Bewachsung kundgibt. Da wechseln bunt durcheinandergewürfelt kleine und große Flecken, saftig dunkelgrüne Stellen mit guter Bodendurchfeuchtung, gelb- und braungrüne, schon halb verdorrte Stellen schlechter Bodenbeschaffenheit, hell glänzende kahle oder wenige Halophytenpflänzchen tragende Stellen starker Versalzung. In keiner anderen Pflanzenformation ist mir dieses teppichmusterartige Ineinanderweben verschiedener Assoziationen so sinnfällig entgegengetreten[1].

Daß die Vegetation der Szikböden im Sommer äußerst dürftig ist, kann nach dem Gesagten nicht wundernehmen. Selbst in einer leichten Senke, in der

[1] Eine kartographische Verteilung der Pflanzenassoziationen auf der Hortobágy hat kürzlich P. MAGYAR gegeben, dessen Arbeit auch sonst viele Aufschlüsse über die botanischen Verhältnisse der Alkalisteppe bringt. — MAGYAR P., Beiträge zu den pflanzenphysiologischen und geobotanischen Verhältnissen der Hortobágysteppe. Erdészeti Kisérletek 1928, Nr. 30, 210.

die Erde oberflächlich sehr feucht war, erhob sich die ganz lockere Vegetation kaum über den Boden; ich notierte die Gräser Festuca pseudovina Hack, Poa bulbosa L., die Komposite Artemisia monogyna W. K. und die Plumbaginacee Statice Gmelini Willd.; die letztere Art ist für Salzstellen überall sehr kennzeichnend und endet mit zunehmendem Salzgehalt in Kümmerformen mit ganz kleinen, kaum 1 cm langen Rosettenblättchen. In den breiten verschlammten Räumen zwischen diesen Pflanzen machten sich die dunkelgrünen Lappen einer Spaltalge, Nostoc commune Vauch., breit. Nur die obersten 2 cm des Bodens waren nach der regenreichen Nacht durchnäßt und schmierig, darunter begann sogleich der trockene Teil des Szikprofils, das sich folgendermaßen gliederte:

0—30 cm, ausgelaugte, graubraune Schicht. Wassergehalt in 0—2 cm Tiefe 25,3 %, in 2—8 cm Tiefe 8,9 %.

30—60 cm, versalzte Akkumulationsschicht.

Von 60 cm ab unveränderter brauner Lehm. Wassergehalt in 100 cm Tiefe 12,2 %.

1,70 cm Grundwasserspiegel.

Zu den Wassergehalten, die in Prozenten des Lufttrockengewichtes berechnet sind, ist zu bemerken, daß in dem fein dispersen Lehmboden die Pflanzen vermutlich erst den wenigstens 10 % übersteigenden Teil des Wassergehaltes ausnützen können. Es leuchtet ein, daß bei solchen Bodenverhältnissen im Sommer Pflanzen nur vegetieren können, wenn sie entweder mit ihrem Wurzelwerk durch die trockenen, harten Schichten hindurchstoßen oder aber imstande sind, auch längere *vollständige* Austrocknung zu ertragen. Statice Gmelini ist ein glänzendes Beispiel für den ersteren Typ, seine pfahlförmige Hauptwurzel geht bis 2,5 m tief hinab; Nostoc commune vertritt den zweiten Typ, den wir im allgemeinen nur bei Kryptogamen finden; dieser Kryptogamentyp ist aber abhängig von gelegentlicher Durchfeuchtung durch Regen, Tau oder Nebel, da er in trockenem und luftfeuchtem Zustand nicht zur Assimilation befähigt ist, wohl aber durch die weiter gehende Atmung Substanzverluste erleidet. Er muß bei Verschärfung der Trockenbedingungen in ausgesprochenen Wüsten früher kapitulieren als der Phanerogamentyp. Daß er auf den Alkalisteppen möglich ist, zeigt eben wieder, daß hier die Bodenverhältnisse viel mehr entscheidend sind als das Luftklima. Von der viel reicheren Frühjahrsvegetation ist im Sommer nichts mehr zu sehen; ihre Samen und unterirdischen Dauerorgane verwirklichen das Prinzip des zeitweise latenten Lebens in noch vollkommenerer Weise als die Kryptogamen. Wir haben also, wie fast stets, so auch in dieser halo-xerischen Szikassoziation eine Mischung der verschiedensten Lebensformen, die dasselbe Ziel der Existenzmöglichkeit in ganz verschiedener Weise erreichen[1].

An *geneigten* Stellen kann die Auslaugung der oberen Schicht mit einer so starken Erosion verbunden sein, daß von ihr nur weiß gebleichter ganz feiner Sand übrigbleibt. Die Akkumulationsschicht kommt dann bis dicht unter die Oberfläche. Da sie wasserundurchlässig ist, bilden sich bei Regen Wasserpfützen. So kommt das merkwürdige Bild zustande, daß dicht neben Ansammlungen stehenden Wassers steinhart ausgetrockneter, weiß schimmernder nackter Boden liegt, auf dem als letzter Pionier fast nur noch Camphorosma ovata W. K. vorkommt. Unter einer solchen Pflanze, die dicht neben einer Wasserpfütze stand, wurden Bodenproben genommen und ihr Wassergehalt bestimmt. Dieser betrug innerhalb der obersten 3 cm nur 2,3 %, in 7—15 cm Tiefe nur 5,2 %. Schlagender kann die Undurchlässigkeit dieses Bodens für Wasser nicht bewiesen werden!

Erst ein *historischer Rückblick* eröffnet aber ein richtiges Verständnis des heutigen Zustandes der Hortobágy-Puszta; *denn diese große Trockensteppe ist in ihren Hauptteilen ein Kulturprodukt der letzten 50—100 Jahre.* Noch im Jahre 1850 dehnte sich dort auf weite Strecken ein „Rohrlabyrinth unermeßlicher schilfbewachsener Sümpfe[1]", nur zu befahren mit flachen Booten und unter guter Führung. Wehe dem „Menschen, der sich unkundig der Wege in dieses Rohrlabyrinth hineinwagt und dort verirren würde. Ungehört verhallt sein Ruf in der schrecklichen Wildnis und tagelang mag er sich durch die Kanäle und Lagunen hindurchschieben, ohne einen Ausgang zu entdecken". Die im Jahre 1850 begonnene und erst 1900 beendete Theißregulierung hat mit diesen Sümpfen gründlich aufgeräumt. Vorher hatte der große Fluß, der in der Tiefebene auf 1 km nur 3,7 cm Gefälle hat, seine aus dem Gebirge herabstürzenden Wassermassen in Überschwemmungen von ungeheurem Ausmaß über das flache Land ergossen (Fig. 6). Damals mußte man zu den Zeiten der Überschwemmung mit Kähnen über die Puszta fahren, und auf dem Hortobágy-Fluß besaß die Stadt Debrecen eine Schiffmühle. Blühende Dörfer, deren Namen heute nur noch in Gemarkungsbezeichnungen erhalten sind, lagen in früheren Jahrhunderten am Rand dieser Überschwemmungsgebiete oder auf Inseln in ihnen, umgeben von großen Waldungen und vorzüglichen Weiden, deren Fruchtbarkeit heute noch in alten Volksliedern gepriesen wird, von denen eins beginnt:

O Du fettes Kanaan,
Hortobágyer Trift Du,
...

Die von Menschenhand unternommenen Ver-

[1] Die öfters geäußerte Meinung, daß der Nitritgehalt der Szikböden der die Vegetation begrenzende Faktor sei, hat in den Untersuchungen von D. FEHÉR und I. VÁGI keine Bestätigung gefunden (Biochem. Z. 153, 156 [1924]). Über die spezifische Mikroflora der Hortobágyböden hat kürzlich R. BOKOR berichtet (Die Mikroflora der Szik-[Alkali]-Böden mit Rücksicht auf ihre Fruchtbarmachung. Erdészeti Kisérletek. 30, 206 [1928]).

[1] A. KERNER, l. c, S. 24.

suche zur Trockenlegung der Sümpfe sind uralt und schon in der Römerzeit quellenmäßig belegt. Aber das grausame Schicksal dieses Landes, das immer und immer wieder als Kampfplatz zwischen Ost und West zertreten und zerstampft wurde und das heute noch in der merkwürdigen Anlage seiner „Bauernstädte" mit ungeheuer ausgedehnten Gemarkungen die Spuren dieser Zeiten trägt, hat diese Kulturarbeit immer wieder unterbrochen und zerstört. Erst seit 1750 entstanden Unternehmungen von größerem Ausmaß und von Bestand, und erst 1850 begann die große Entwässerung durch die Theißregulation, die Sumpfflächen von beinahe der Größe Württembergs trocken legte. Mit der Senkung des Grundwasserspiegels und der Abhaltung der Überschwemmungen begann aber die Versalzung und damit die Verschlechterung

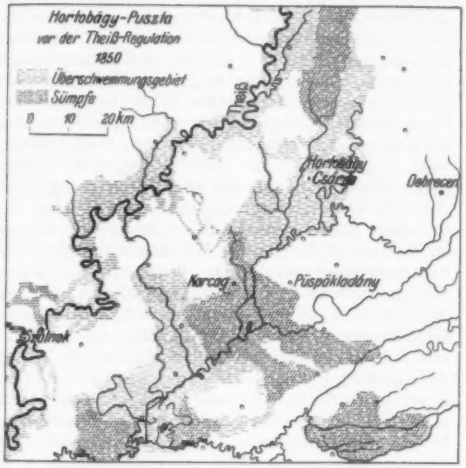

Fig. 6. Die Hortobágy vor der Theißregulierung. Die heutigen Dörfer sind durch Kreise angedeutet. (Nach G. STRÖMPL, in P. TREITZ, l. c.)

und Austrocknung weiter Gebiete zur Alkalisteppe. Nicht etwa, daß erst jetzt die Bildung von Soda, die Ursache der Verschlechterung, einsetzte! Sodabildung findet man in Steppen- und Wüstengebieten auch in sehr nassen Böden, und gerade in solchen oft besonders stark. Im ungarischen Tiefland war die Sodabildung vor der Entwässerung wahrscheinlich lebhafter als jetzt, denn damals entstanden an vielen Stellen im Sommer starke Ausblühungen von Soda und auch von Salpeter, die jetzt stark zurückgegangen sind. Aber mit dem Ausbleiben der Überschwemmungen wurde die Soda nicht mehr ausgewaschen und konnte nun ihre verhängnisvolle Wirkung im Boden beginnen.

Ein dramatisches Beispiel dieses Kampfes mit dem Wasser hat S. v. GYÖRFFY[1] kürzlich in der Geschichte der am Rande der Hortobágy gelegenen Stadt Karzag gegeben (Fig. 6). Schon in der Stein- und Bronzezeit lagen dort zahlreiche Siedelungen am Rand des Überschwemmungsgebietes, und diese Lage behielten auch die volkreichen Dörfer bei, die sich aus den Lagerstätten der nomadisierenden, in den Mongolenkriegen (um 1250) angesiedelten Kumanier entwickelten, bis sie in den Tartaren- und Türkenkriegen und den Pestzeiten eins nach dem andern zugrunde gingen. Waren die Bewohner schon von altersher Viehzüchter gewesen, so wurde diese Neigung nicht nur durch die Natur des Überschwemmungslandes, sondern auch durch die Unsicherheit der Kriegszeiten gefördert, die immer und immer wieder zur Flucht in die Sümpfe zwangen und sogar zu künstlichen Aufstauungen der Gewässer führten. Erst 1750 begann der Kampf gegen das Wasser, zunächst, um die Städte selbst gegen die Überschwemmungsgefahr zu sichern, dann aber auch zur Gewinnung von Neuland, vor allem für den Ackerbau, der durch die Verbesserung der Verkehrsmittels immer lohnender wurde. 1½ Jahrhunderte dauert der Kampf, immer wieder entstehen Mißerfolge, indem Dämme, die auf der einen Seite vor den Fluten schützen, auf der anderen Seite erhöhte Überschwemmung bewirken und schließlich oft wieder durchstoßen werden müssen. Aber endlich gelingt die Trockenlegung. Von der 67000 Kat.-Joch großen Gemarkung der Stadt Karzag, die nach einer Beschreibung vom Jahr 1699 fast nur aus versumpftem Ödland bestand, sind 1853 schon 15000 Joch als Ackerland trocken gelegt, 1897 33000 Joch und 1925 gar 55000 Joch. Aber schon kommt der Rückschlag: Von dem gewonnenen Ackerland sind heute etwa 30000 Joch derartig versalzt und ausgetrocknet, daß sie nur noch als schlechte Weide benutzbar sind. Ein 10—12 Jahre fortgesetzter Raubbau haben es in Verbindung mit fortdauernder Entwässerung zur Alkalisteppe gemacht, auf der die zahlreichen früheren Meierhöfe unbenutzt wieder verfallen.

Ein wichtiger Faktor in der fortdauernden Verschlechterung der Alkaliböden ist die Viehhaltung, da das Vieh den nach Regenfällen erweichten Boden zusammentritt und mit seinen Hufen die Grasnarbe beschädigt. Bei Puspökladány sahen wir ein von der forstlichen Versuchsanstalt seit einigen Jahren *eingezäuntes* Stück Alkalisteppe: Die kurzrasige, für die Alkalisteppe charakteristische Festuca pseudovina Hack. hatte höherrasigen Grassorten, vor allem Poa angustifolia L. und Alopecurus pratensis L. Platz machen müssen. Die Sukzession war noch nicht zum Abschluß gekommen, vielleicht wird Poa angustifolia noch weiter Raum gewinnen.

Was die Zukunft der Alkalisteppen angeht, so besteht das Bestreben, sie in Ackerland, auch in Waldland überzuführen. Das erstere ist bereits in weitgehendem Maße geschehen. Die Niederschlagsmengen sind ja durchaus ausreichend, und der Boden ist fruchtbar, sobald es gelungen ist, ihn durch geeignete Behandlung aufzubrechen

[1] P. TREITZ, l. c.; vgl. auch P. MAGYAR, l. c.

und locker zu erhalten. Wer vom Schnellzug aus das immer gleiche Bild der gelbwogenden Weizenfelder an sich vorübereilen sieht, der erhält einen lebhaften Eindruck von dem Erfolg dieser Bemühungen. Die Bestrebungen zur Aufforstung haben durch den Frieden von Trianon, durch welchen volle 86% der ungarischen Wälder verloren gingen, erhöhte Bedeutung gewonnen. Die Schwierigkeit liegt in der Gewinnung einer genügenden Wurzeltiefe durch die harte Akkumulationsschicht hindurch. Wir sahen 2jährige Tamarix tetrandra, deren Wurzeln zwar 2 m weit horizontal liefen, aber nur 80 cm tief eindrangen. Trotzdem sind bisher schon Erfolge erzielt worden; ob freilich auf ausgesprochenen Szikböden auf die Dauer Wälder zu erhalten sind, wird erst die Zukunft lehren müssen; die klimatischen Verhältnisse würden es sicher erlauben, wie die schönen, oft laubwiesenartigen Eichenwälder (Quercus pedunculata) beweisen, die wir auf der Gemarkung Ohat am Rande der Alkalisteppe besuchten.

Ein anderer interessanter Versuch einer wirtschaftlichen Nutzung der Puszta wurde durch Überflutung eines 1200 Hektar großen, tiefer liegenden Stückes der Hortobágy-Puszta gemacht. Mit Hilfe eines an der Theiß gelegenen Pumpwerkes hat man dort einen riesigen Fischteich geschaffen. Unter Zuhilfenahme künstlicher Fütterung — Feldbahnen bringen den geschrotteten Mais an die Futterstellen —, werden vor allem Karpfen gezüchtet und im Winter in lebendem Zustande in besonderen „Aquariumswagen", deren Wasserbecken mit Durchlüftung versehen sind, nach Deutschland, Polen, Holland usw. versandt; dieser Versand betrug 1927 volle 400 t Fische!

Die rasche Entwicklung der Hortobágy zur Alkalitrockenpuszta legt die Frage nahe, ob wir in Deutschland bei Entwässerungsmaßnahmen ähnliche Folgen zu befürchten haben. Seit den Zeiten des Großen Kurfürsten ist bei uns die Entwässerung von Brüchen und Mooren zur Gewinnung von Kulturland in großem Umfang betrieben worden, und in neuerer Zeit kommt dazu die Senkung des Grundwasserspiegels durch die Korrektionen der Flüsse und die Entnahme großer Grundwassermengen durch die Wasserwerke der Städte und Fabriken. Demgegenüber hat kürzlich F. HAMM[1] einen Warnruf ertönen lassen: „Über die drohende Bodenaustrocknung Deutschlands". Dieses Problem soll hier nur soweit gestreift werden, als es sich in einen Vergleich mit der Entstehung der Alkalisteppe bringen läßt. Wie wir sehen, muß man bei der Entstehung dieser Art Trockenpuszten unterscheiden zwischen der „Versalzung" und der „Entwässerung" des Bodens. Die Bildung von Salzen, vor allem der Soda, erfolgte in Ungarn schon vor der Entwässerung so stark, daß vielerorts im Sommer die ausgeblühten Salze an der Oberfläche des Bodens weggekehrt werden konnten. Solche Erscheinungen haben wir bei uns nicht; die Salzbildung hängt offenbar zusammen mit den höheren Sommertemperaturen des ariden Übergangsklimas, die einerseits die Tätigkeit der Mikroorganismen und die chemischen Umsetzungen begünstigen, andererseits durch die rasche Verdunstung des Regenwassers die Auswaschung des Bodens verringern. An eine Bildung von *Alkali*trockensteppen als Folge von Entwässerungsmaßnahmen ist bei uns in Deutschland also nicht zu denken. Bleibt noch die Frage der *nicht versalzten* Trockensteppe. Dabei ist Ackerbau- und Waldbauwirkung zu trennen. Unsere Ackerbaupflanzen stehen in ihrem physiologischen Verhalten den Steppenpflanzen nahe. Wie W. R. ROTMISTROFF[1] überzeugend nachgewiesen hat, spielt in den Schwarzerdeböden bei Odessa das Grundwasser, weil viel zu tief, gar keine Rolle. Der Ertrag dieser Böden wird nur mit den Niederschlägen aus der Luft erzielt. Wenn das in Odessa möglich ist, wo der Jahresniederschlag nur 41 cm beträgt und wo durch den langen Bodenfrost und die hohe Sommertemperatur große Teile dieses Niederschlages dem Boden verloren gehen, so kann man an größere Schädigungen des *Acker*baues durch die Grundwassersenkung in Deutschland schwer glauben, und die Angaben darüber sind in der Tat so unbestimmt, daß sie nichts beweisen. Anders freilich mag die Sache mit dem Wald liegen. In Odessa reicht das Niederschlagswasser für geschlossene Wälder nicht mehr aus, und auch in Ungarn sind Wälder offenbar nur da möglich, wo entweder Grundwasser erreichbar ist oder wo das Klima feuchter ist. Für den *Wald* besteht auch in Deutschland die Möglichkeit, daß in den trockeneren Gebieten eine starke Grundwassersenkung katastrophale Folgen haben kann. Die Bäume werden wipfeldürr und gehen schließlich ein. Ein solcher Fall ist z. B. näher untersucht für die Wälder in der Umgebung der Wasserwerke der Stadt Leipzig, durch die der Grundwasserspiegel um 4—7 m gesenkt wurde[2].

(Schluß folgt.)

[1] F. HAMM, Mitteilung der Provinzialstelle für Naturdenkmalpflege Hannover, H. 1, 1928.

[1] W. G. ROTMISTROFF, Das Wesen der Dürre. Dresden und Leipzig 1926.

[2] F. HAMM, l. c., S. 25.

Die Bedeutung der Niere für das Säurebasengleichgewicht des Organismus.

Von FRITZ MAINZER, Altona.

(Aus der medizinischen Abteilung des Städtischen Krankenhauses.)

Mit der Nahrung nimmt der Organismus ständig saure und basische Äquivalenzen in wechselnder Menge auf. Saure und basische Äquivalente entstehen ferner aus Nichtelektrolyten im Stoffwechsel: ätherlösliche organische Säuren im Stoffwechsel der Fette und des Eiweißes, Harnsäure und Schwefelsäure gleichfalls im Eiweißstoffwechsel, die Kohlensäure als Endprodukt aller Ver-

brennungen; ferner Basen, wie Kreatinin, Kreatin und Ammoniak in erheblichen Mengen. Gegenüber diesen jeweils wechselnden Störungen hält der normale Organismus des Menschen das Gleichgewicht der sauren und basischen Äquivalente in Geweben und Körperflüssigkeiten, vor allem aber im Blut, mit einer Präzision fest, die zum Teil die Meßgenauigkeit physikalischer Instrumente zu übertreffen scheint. Diesem Zwecke dienen eine Reihe von Regulationseinrichtungen. Durch seine Puffereigenschaften ist das Blut und sind in geringerem Maße auch die Gewebe gegen brüske Änderungen der Wasserstoffzahl verhältnismäßig gut geschützt. Aber gleichwohl müßte dieser Schutz schnell versagen, wenn nicht die Ausscheidungsorgane ständig die Aufrechterhaltung des normalen Säurebasen, gleichgewichts kontrollierten. Die Rolle, welche die Atmung in dieser Hinsicht vor allem durch die Ausscheidung der Kohlensäure spielt, ist eingehend erforscht. Die verwickelten Beziehungen, welche zwischen der Atmung, ihrer Steuerung durch das Atemzentrum und dem physikalisch-chemischen Zustande des Blutes bestehen, sind in dieser Zeitschrift von WINTERSTEIN dargestellt worden. Auch der Kreislauf ist zwangsläufig in dieses Regulationssystem einbezogen.

Ferner sind Hautorgan und Magendarmkanal für die Neutralitätsregulation von Bedeutung.

Die Funktion der Haut ist in dieser Richtung ungenügend erforscht. Für die Abgabe von Kohlensäure ist sie nicht ganz bedeutungslos, auch scheinen erhebliche Mengen Milchsäure durch sie den Organismus verlassen zu können.

Die Neutralitätsregulation des Darmes bietet der Forschung ganz besondere Schwierigkeiten, zunächst für die Analyse des Darminhaltes, dann aber auch für die Deutung der Befunde. Denn der Darm ist zugleich Resorptions- und Ausscheidungsorgan; eine Reihe von Substanzen macht einen Kreislauf durch, derart, daß sie von den oberen Darmabschnitten aufgenommen, von den unteren wieder ausgeschieden werden. Weiterhin ist das physikalisch-chemische Milieu des Darmes durch die Lebenstätigkeit von Mikroorganismen weitgehend mitbedingt.

Diese Schwierigkeiten belasten aber auch die Erforschung der Neutralitätsregulation der Niere. Denn fast alle Elektrolyten können in wechselndem Verteilungsverhältnis sowohl mit dem Darminhalt, wie mit dem Harn den Körper verlassen. Ein vollständiges Bild gibt daher die Analyse des Harnes nicht einmal für die Neutralitätsregulation der Niere selbst. Trotzdem haben wir ihr wichtige Aufschlüsse zu verdanken.

Während die Lunge im wesentlichen nur durch die wechselnde Ausscheidung der flüchtigen Kohlensäure der Reaktionsregulation dient, fällt der Niere diese Aufgabe in erster Reihe für die Gesamtheit der *fixen* Elektrolyte zu.

Das normale Säurebasengleichgewicht kann gegenüber den wechselnden Störungen nur dadurch aufrechterhalten werden, daß sowohl ein Überschuß saurer wie basischer Äquivalente aus dem Organismus entfernt wird. Eigentümliche Verhältnisse haben es mit sich gebracht, daß man der Beeinträchtigung nach der sauren Seite hin, der *Acidose*, zuerst und besondere Aufmerksamkeit schenkte. In der Asche der menschlichen Nahrung — und vom Menschen nahm diese Forschungsrichtung ihren Ausgangspunkt — überwiegt die Menge der sauren Äquivalente, wie bei allen Omnivoren und Fleischfressern. Unter diesen Umständen fällt der Niere in erster Reihe die Funktion eines säureausscheidenden Organes zu. Hätte die Physiologie des Kaninchens, eines Pflanzenfressers, die Richtung gegeben — hier sind in der Nahrungsasche die basischen Äquivalente im Überschuß — so wäre wohl die Frage der Basenausscheidung (oder Säureersparnis) zunächst in den Vordergrund getreten. Es kommt dazu, daß die wichtigste menschliche Stoffwechselerkrankung, die Zuckerkrankheit, in schweren Fällen mit der Produktion großer Mengen ätherlöslicher organischer Säuren, in erster Reihe der β-Oxybuttersäure, im Organismus einhergeht und daß die Regulationsmechanismen des Körpers gegen diese Selbstvergiftung mit Recht das Hauptaugenmerk der pathologischen und klinischen Forschung auf sich zogen.

Eine ganze Reihe von Mechanismen sind es, durch welche die Niere als neutralitätsregulierendes säureausscheidendes oder — was damit gleichbedeutend ist — basensparendes Organ auftritt.

Unter den genannten Bedingungen ist der Harn saurer als das Blut, aus dem er sezerniert wird. Basische Äquivalente werden so zur Einsparung gebracht; ein Maß dieser Einsparung wird dadurch gewonnen, daß der Harn bis zur Wasserstoffzahl des Blutes — $p_H = 7{,}30-7{,}40$ (38°) — zurücktitriert wird. Die erforderliche Laugenmenge, in Äquivalenten gemessen, gibt das Maß der durch diesen Mechanismus bewirkten Basenersparnis; diese Größe wird üblicherweise als „Titrationsacidität des Harnes" bezeichnet.

Ferner tritt im Harn in wechselnder Menge, jedoch in gesetzmäßiger Abhängigkeit von seiner Wasserstoffzahl (und seinem Gesamtstickstoffgehalt) — Ammoniak auf, das unter den gegebenen Bedingungen — die Wasserstoffzahl des Harnes schwankt zwischen $p_H = 4{,}7$ und $p_H = 8{,}3$ (38°) — als Salz vorhanden ist. In dem Maße, in dem das Ammoniumion fixe Kationen in der Salzbildung mit harnfähigen Säuren vertritt, bringt es diese zur Einsparung. Diese Baseneinsparung kann, in Äquivalenten gemessen, der Titrationsacidität zugefügt werden. Beide zusammen machen den wesentlichen Teil der Säureausscheidung der Niere aus. Sie beträgt bei normaler Ernährung etwa 60—100 Milliäquivalente im Tag, kann aber unter abnormen Verhältnissen wohl bis auf das Zehnfache und mehr ansteigen. Geringe Bedeutung kommt einem dritten Mechanismus zu, der Ausscheidung von Ätherschwefelsäuren. In dem Maße, in dem die im Stoffwechsel entstehende Schwefelsäure an Stelle des anorganischen Sulfats als Salz der

einbasischen Ätherschwefelsäuren im Harn auftritt, wird je Mol ein basisches Äquivalent zur Einsparung gebracht.

Wie gesagt, hat man gegenüber diesen Mechanismen der Basenersparnis die Erforschung der säuresparenden Regulationen aus begreiflichen Gründen vernachlässigt.

Ihr einziger Mechanismus wurde in der Bildung eines Harnes mit größerer Wasserstoffzahl als der des Blutes gesehen. Zu solchen alkalischen Harnen muß Säure zugegeben werden, um die Blutreaktion zu erzielen, und diese negative Titrationsacidität galt als Maß der Säureeinsparung (vermindert um die gleichzeitig stattfindende Baseneinsparung durch Ammoniak). Selten werden bei solcher Betrachtungsweise, selbst unter extremen Verhältnissen, höhere Werte als etwa 20 Milliäquivalente im Tage gemessen; und so hätte der Schluß gezogen werden müssen, daß der Organismus zwar ausgezeichnet gegen eine Überschwemmung mit Säuren geschützt ist, aber der Vergiftung mit Basen so gut wie wehrlos gegenübersteht.

Daß dem nicht so ist, lehrt die Bedeutung des Harnbicarbonates.

Bei den vergleichsweise konstanten Mengen frei gelöster Kohlensäure ist die Menge des im Harn stets vorhandenen Bicarbonates in grober Annäherung eine einfache Funktion der Wasserstoffzahl. Ein Harn mit der Wasserstoffzahl $p_H = 8$ enthält rund tausendmal soviel Bicarbonat als ein Harn von $p_H = 5$. Harne mit einem Gehalt von fast 200 Millimol im Liter sind nicht selten.

In dem Maße nun, in dem fixe Basen als Salz der Kohlensäure im Harn auftreten, werden fixe Säureäquivalente eingespart. Die Bicarbonatausscheidung ist daher in dem gleichen Sinne eine Säureeinsparung, in dem die Ammoniakausscheidung schon lange als Basenersparnis erkannt wurde. Säureeinsparungen von 300—400 Millimol sind dadurch leicht erreichbar. Fast gleich gut wie gegen die Überschwemmung mit Säure schützt also die Niere den Organismus gegen Alkalivergiftung.

Ammoniak wie Kohlensäure können im Harn in Nichtelektrolytform als Harnstoff auftreten. Der Organismus verfügt somit gleichzeitig in beliebiger Menge über eine flüchtige Säure und eine flüchtige Base, die im Stoffwechsel selbst entstehen und auch in einer für den Säurebasenhaushalt bedeutungslosen Form ausgeschieden werden können. Erst dadurch ist die Niere in der Regulation des Säurebasenhaushaltes unabhängig von den gleichzeitig bestehenden stofflichen Ausscheidungsforderungen.

Die Bedeutung der Neutralitätsregulation der Niere erhellt mit besonderer Eindringlichkeit aus der Beobachtung ihrer Erkrankungen. In einem Teil der Fälle schwerer chronischer Nierenschädigung kommt es beim Menschen zur „Acidose". Der Bicarbonatgehalt des Blutes sinkt, wohl vorwiegend deshalb, weil ein Teil der Kationen des Blutes an organische Säuren gebunden werden. Zum Teil sinkt auch der Gesamtbestand des Blutes an Kationen. So kann auch eine Verschiebung der normalerweise festgehaltenen Wasserstoffzahl des Blutes auftreten. Werte bis hinunter zu $p_H = 7{,}00$ (38°) wurden von uns beobachtet. Die Ursache dieser schweren Störungen ist das Darniederliegen der gesamten Neutralitätsregulation der Niere. Ammoniakmenge und „Titrationsacidität" des Harnes sinken. Die Ansprüche des Stoffwechsels an die Niere aber bleiben die gleichen. Es muß sich daher nach dem früher Gesagten eine Anstauung fixer Anionen im Organismus, eine Acidose, entwickeln. Wir möchten dahingestellt sein lassen, ob sich beim Pflanzenfresser unter den gleichen Umständen nicht eine Alkalivergiftung, eine „Nierenalkalose" entwickeln könnte. Das Zutreffen dieser Hypothese ist von einer Reihe von Voraussetzungen abhängig. Eine Nierenalkalose des Pflanzenfressers darf nur dann erwartet werden, wenn die Nierenacidose des Menschen überwiegend — eine ausschließliche Abhängigkeit kommt wohl keinesfalls in Frage — exogen bedingt ist, wenn nicht die im Stoffwechsel selbst entstehenden Säuren von maßgebender Bedeutung sind. In diesem Sinne scheint die Feststellung zu sprechen, daß es bei geeigneter Ernährung trotz schwerster Störung der gesamten Neutralitätsregulation auch in Monaten nicht zur Säureanstauung zu kommen braucht (unveröffentlichte Beobachtung).

Als Voraussetzung für den Eintritt einer Nierenalkalose hätte ferner zu gelten, daß bei schweren Nierenerkrankungen auch die Ausscheidung überschüssiger Basen, die Bicarbonatausscheidung erheblich gestört ist. Es gelang uns in der Tat, diesen Nachweis beim nichtacidotischen Nierenkranken zu führen.

So ist gerade die Lehre von der Neutralitätsregulation der Niere ein eindrucksvolles Beispiel für die innige Verbundenheit theoretischer und ärztlich-klinischer Forschung.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, die *Zuschriften* auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken, bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

On the Spectrum of ionised Rubidium.

H. REINHEIMER tried to classify the spectrum of Rb^+ in 1923 (Ann. der Physik **71**, 174), but did not proceed beyond getting a few constant frequency differences. I have recently been able to classify the spectrum by using the method of horizontal comparison described by Messrs. of SAHA and MAJUMDAR (Ind. J. of Physics **3**, 1). From the comparison of the spectra of the group Ge^+ to Sr^+, and plotting the known results about the spectra of this group, the important lines of Rb^+ can be easily located.

Thus of the transition $5\,N_3\,(O_1 \leftarrow O_3)$, the following lines were located as follows: $3\,P_2D_3$ at $\nu = 23553$, $3\,P_2P_2$ at $\nu = 25370$ and $3\,P_2S_1$ at 20232. With this clue, almost all the lines due to the transition $5\,N_3$ $(O_1 \leftarrow O_3)$, were classified. The lines of the group $5\,N_3\,(O_2 \leftarrow P_1)$ were also traced. From comparison with the spectrum of Sr^+ it is seen that the $5\,N_3(N_3 \leftarrow O_3)$ lines will be in the infra red. These have not yet been obtained by anybody. The lines of the transition $5\,N_3\,(O_2 \leftarrow O_3)$ have also been partly obtained. The fundamental $3\,P_2$, P_1, P_0 differences are 1528, 3925 respectively, and $3\,P_1 - P_1 = 5740$.

Allahabad (India), Physical Laboratory, den 23. Dezember 1928. RAMES MAJUMDER.

Über Autoracemisierung.

Bemerkung zu der Zuschrift gleichen Titels von RICHARD KUHN und TH. WAGNER-JAUREGG vom 7. Januar 1929.

Gegen Schluß ihrer Zuschrift über die von P. WALDEN entdeckte Autoracemisierung der aktiven Brombernsteinsäureester, welche auf die Anwesenheit von Spuren von Bromwasserstoff zurückgeführt wird, schreiben die obengenannten Forscher: „Die Feststellung, daß eine sog. Autoracemisierung in Wirklichkeit eine katalytische Racemisierung darstellt, wobei der Katalysator bisher wegen seiner äußerst geringen Konzentration der Beobachtung entging, scheint von allgemeiner Bedeutung zu sein." Dieser Satz kann den Eindruck hervorrufen, daß Racemisierungserscheinungen bisher nicht als katalytische Vorgänge gedeutet worden sind. Deshalb sei hier auf zwei von mir in Gemeinschaft mit G. MAISER[1] veröffentlichte Arbeiten verwiesen, in denen u. a. festgestellt wurde, daß die Autoracemisierung gewisser substituierter Ammoniumsalze, deren Drehungsvermögen auf der Anwesenheit eines asymmetrischen *Stickstoffatoms* beruht, in erster Linie von der Anwesenheit von ionisierbarem *Halogen* abhängt; ersetzt man dieses nämlich durch ein anderes Anion, wie z. B. das Nitrat-Ion, so ist das betreffende Salz optisch beständig. Fügt man indessen Haloidsalze hinzu, so macht sich ein mehr oder weniger schneller Rückgang der Drehung bemerkbar; schon kleine Verunreinigungen mit Haloidsalzen können dann polarimetrische Unbeständigkeit vortäuschen. In diesem Falle liegt der Wirkungsmechanismus zwar klar zutage, da durch doppelten Umsatz mehr oder weniger große Mengen des optisch labilen organischen Ammoniumhaloides[2] erzeugt werden. Andererseits erscheint gerade dieses Verhalten sehr merkwürdig, denn die Autoracemisierung ist hier nicht nachweislich mit einem Zerfall der Salzmolekeln verbunden, welcher die Ursache der „unechten" Autoracemisierung[1] in zahlreichen, früher untersuchten Fällen bildet. Es genügt also in dem erwähnten Falle die Anwesenheit von Halogen, um das Salz für die Neigung zur Autoracemisierung zu prädisponieren. Auslösend wirken aber nur *bestimmte Lösungsmittel*, z. B. Wasser und Alkohol, während Aceton wirkungslos ist, d. h. es tritt in diesem Lösungsmittel kein Drehungsverlust des Haloidsalzes ein. Auch Chloroform zeigt nur einen geringen Effekt, der überdies nicht auf stereochemische Umlagerung, sondern auf einen langsamen Zerfall der Salzmolekel zurückzuführen ist.

Dieselben Verhältnisse fanden wir bei der der Autoracemisierung analogen Umlagerung gewisser quartärer Ammoniumsalze, die zugleich ein asymmetrisches Kohlenstoffatom enthalten. Auch hier ist die Anwesenheit von Halogen für das Auftreten des Effektes entscheidend; auch die Auslösung erfolgt durch dieselben Lösungsmittel wie oben; in Chloroform besteht sogar völlige Stabilität. Wir haben uns deswegen seinerzeit die folgende Meinung gebildet: abgesehen von dem eigenartigen Einfluß des Halogenions auf die Tendenz zur Autoracemisierung bzw. Umlagerung ist die Wirkung der verschiedenen Medien ausschließlich auf die Geschwindigkeit der betreffenden Vorgänge eingestellt und kann somit in das große Kapitel der *Kontakt-* bzw. *katalytischen* Vorgänge eingereiht werden; nur ist das Mengenverhältnis zwischen Substrat und Katalysator ungefähr entgegengesetzt demjenigen bei den bekannten katalytischen Vorgängen. Welche entscheidende Rolle das Medium hierbei spielt, ergibt sich aus der Tatsache, daß auch bei den Betainen, den einzigen stickstoff-aktiven Formen, die Racemisierung erleiden, ohne Halogen zu enthalten, die Geschwindigkeit dieses Vorganges deutlich abhängig ist von der chemischen Natur der benutzten Lösungsmittel[2].

Hann.-Münden, Chem. Institut der Forstl. Hochschule, den 18. Februar 1929. E. WEDEKIND.

[1] Ber. dtsch. chem. Ges. **61**, 1364 ff., 2471 ff. (1928).

[2] Besonders merkwürdig ist, daß diese Wirkung gerade in dissoziierenden Solventien, wie Wasser und Alkohol erfolgt, denn das Halogen ist hier weitgehend abdissoziiert.

[1] Vgl. E. WEDEKIND, Z. Elektrochem. **12**, 330 [1906] und zahlreiche spätere Arbeiten mit E. FRÖHLICH, O. WEDEKIND und anderen Mitarbeitern in den Berichten d. deutsch. chem. Gesellschaft.

[2] Bei dem überaus starken Einfluß des Halogens halte ich es jetzt nicht mehr für ausgeschlossen, daß auch der spontane Drehungsverlust der Betaine durch Spuren von Halogen bewirkt wird, die mangels geeigneter Reinigungsmöglichkeiten aus den Betainen, die nur aus den Haloidsalzen zugänglich sind, nicht restlos entfernt werden können.

Besprechungen.

BAUR, E., und M. HARTMANN, **Handbuch der Vererbungswissenschaft** Bd. 2, Liefg. 4. Berlin: Gebr. Borntraeger 1928. II. J., S. 1—42 u. 2 Abb., II. I., S. 1—43 u. 6. Abb. 17×26 cm. Preis RM 5.80.

In der vorliegenden Lieferung 4 des großangelegten Handbuches, für das die Herausgeber hervorragende Genetiker des In- und Auslandes gewonnen haben, gibt zunächst H. FEDERLEY, der durch seine Schmetterlingskreuzungen bekannte finländische Gelehrte, einen ausgezeichneten Überblick über den heutigen Stand des *Inzuchtproblems*, wobei er sich dem Charakter des Werkes entsprechend auf die genetische Seite der Frage beschränkt und die rein physiologische und züchterisch-praktische Literatur unberücksichtigt läßt. Was letztere anlangt, sicherlich mit Recht! Denn leider zu häufig entbehren gerade auf diesem Gebiete die aus den Kreisen der Praktiker stammenden Beobachtungen und Spekulationen der wissenschaftlichen Grundlage, so daß es oft unmöglich ist, die Spreu vom Weizen zu sondern.

Die Anschauungen über die Bedeutung der Inzucht für die menschliche Gesellschaft sowohl wie für die Tierzucht haben im Laufe der Zeiten stark gewechselt. Während z. B. die Pharaonen gewöhnlich ihre Schwestern heirateten, wird heute eine Verbindung zwischen

Bruder und Schwester als Inzest strafrechtlich verfolgt. Wissenschaftlich hat die Inzuchtfrage zuerst DARWIN behandelt, doch blieb es der zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts aufblühenden Genetik vorbehalten, sie auf ein wirklich wissenschaftliches Niveau zu heben. Eine sorgfältige Abwägung der Ergebnisse der neueren Vererbungsstudien über die Wirkung der Inzucht bei Pflanzen und Tieren führt den Verfasser zu dem Schluß, daß die Inzucht an sich nicht schädlich ist, sondern daß nur in dem durch sie verursachten Homozygotischwerden rezessiver Gene die Ursache der Inzuchtdegeneration gesucht werden muß. Die hauptsächlich von amerikanischen Forschern vertretene Heterosishypothese, die annimmt, daß Homozygotie an und für sich schon für die Inzuchtschwächung, Heterozygotie aber für das luxurierende Wachstum verantwortlich ist, wird in Übereinstimmung mit E. BAUR abgelehnt. Auch in bezug auf eine der häufigsten Folgen der Inzucht, der teilweisen oder vollständigen Sterilität, wird an Hand der neueren Untersuchungen über Selbststerilität gezeigt, daß es sich nicht um ein reines Inzuchtphänomen handelt. Die Sterilität beruht vielmehr auf besonderen Faktoren, die allerdings bei Inzucht häufig so kombiniert werden, daß Sterilität resultiert. Das gleiche Ergebnis ist jedoch auch bei Kreuzbefruchtung, wenn auch weniger häufig, möglich. Zum Schluß werden die Vorteile und Nachteile der Inzucht zusammengefaßt: Die offenbar weit verbreiteten, schädlichen rezessiven Gene sind das Gespenst, das der Inzucht auf ihren Spuren folgt. Deshalb ist die Furcht vor ihr berechtigt. Ist man aber sicher, einen guten Stamm zu besitzen, der rein ist von solchen Genen, dann ist die Inzucht das einzige Mittel, ihn in diesem Zustande zu erhalten, und man soll sich hüten, durch „frisches Blut" die latenten rezessiven Faktoren wieder einzuführen.

Der Abschnitt „Selbststerilität, Heterostylie" behandelt mehr rein botanische Probleme, wenn auch Beziehungen zu allgemeinen biologischen Fragen nicht fehlen. Der Verf. ist E. LEHMANN, dem wir auf ersterem Gebiete selbst wichtige Untersuchungen verdanken. Während im Tierreich nur ein einziger Fall von *Selbststerilität* bekannt ist (bei der Ascidie *Ciona intestinalis*), ist die Erscheinung im Pflanzenreich weit verbreitet. Schon KÖLREUTER wußte, daß man bei *Verbascum phoeniceum* keinen Frucht- und Samenansatz erhält, wenn man zur Bestäubung Pollen der eigenen Pflanze verwendet. Die Erblichkeit der Erscheinung hat zuerst CORRENS genauer untersucht und damit die Anregung für eine große Zahl von Arbeiten gegeben, die schließlich in den letzten Jahren zu einer weitgehenden Klärung der komplizierten Erblichkeitsverhältnisse geführt haben. EAST und seine Mitarbeiter erklären heute nach langjährigen Untersuchungen in der Gattung *Nicotiana* die Vererbung der Selbststerilität auf Grund multipel allelomorpher Sterilitätsfaktoren. Gleichzeitig und unabhängig davon stellte ein Schüler des Verf.s, FILZER, den gleichen Vererbungsmodus für *Veronica syriaca* fest; wir dürfen daher annehmen, daß der Erbgang im allgemeinen nach einheitlichen Gesetzmäßigkeiten verläuft, wenn auch für die übrigen untersuchten Objekte die bisherigen Ergebnisse noch kein abschließendes Urteil erlauben.

Die Vererbung der *Heterostylie*, jener blütenbiologisch merkwürdigen Erscheinung, daß gewisse Pflanzenarten in zwei (Heterodistylie) oder drei Formen (Heterotristylie) existieren, die sich in ihrem Blütenbau (Länge der Griffel, Stellung der Antheren usw.) unterscheiden, hat schon DARWIN beschäftigt. Die Grundlagen für das Verständnis des Erbganges haben aber erst die Untersuchungen von BATESON und GREGORY (1905) gebracht. Neuerdings hat sich gezeigt, daß die Verhältnisse wesentlich komplizierter liegen, als man anfangs dachte, und daß man von einem vollen Verständnis noch weit entfernt ist. Verf. hat sich daher im wesentlichen darauf beschränkt, die bisherigen Ergebnisse und Auffassungen zu referieren, ohne selbst Stellung dazu zu nehmen. Neben der genetischen werden aber in dem Abschnitt „Selbststerilität, Heterostylie" auch die anderen Seiten (Morphologie, Physiologie) der Erscheinungen behandelt.

Im Hinblick auf die Gesamtanlage des Handbuches fällt auf, daß in dem Abschnitt über Inzucht die neueren Vererbungsarbeiten über Selbststerilität so ausführlich besprochen werden. Es hätte hier nach Ansicht des Ref. mehr auf den LEHMANNschen Abschnitt, der sich ja speziell mit diesen Fragen beschäftigt, Bezug genommen werden können; überflüssige Wiederholungen wären dann vermieden worden.

F. LAIBACH, Frankfurt a. M.

BRÜCKE, E. TH., **Ernst Brücke.** Wien: Julius Springer 1928. Mit einem Bildnis. 196 S. VII, 14×22 cm. Preis geb. RM 9.60.

Das Leben eines Großen aus dem großen Jahrhundert der Naturwissenschaften, liebevoll geschildert von seinem Enkel und Fachgenossen. Das Büchlein wendet sich an einen weiteren Leserkreis und ist namentlich jüngeren Biologen als lehr- und genußreiche Lektüre warm zu empfehlen. ERNST BRÜCKES Gedächtnis ist unter den Physiologen ja noch durchaus lebendig. Zoologen und Botaniker hingegen kennen von ihm meist nur die drei klassischen Arbeiten über die Bewegungen der *Mimosa* pudica (1848), über den Farbenwechsel des Chamäleons (1852) und über die Elementarorganismen (1861). Daß B. auch ein Meister der Muskel- und Nervenphysiologie war, daß er auch in der Anatomie und Physiologie des Blut- und Lymphgefäßsystems Grundlegendes geschaffen, daß er sich auch in der physiologischen Chemie mit Erfolg betätigt hat, daß er nahe daran war, noch vor HELMHOLTZ den Augenspiegel zu erfinden, daß er jahrzehntelang eifrig linguistische Studien trieb, daß er an seinem Lebensabende noch ein Buch über „Schönheit und Fehler der menschlichen Gestalt" schrieb. Alles das ist höchstens noch dem engsten Kreise seiner Fachgenossen erinnerlich und wohl wert, auch wieder über diese hinaus bekannt zu werden. Aber auch BRÜCKES Lebensgang, wiewohl es nur ein schlichtes, stilles Gelehrtenleben ohne auffallende Ereignisse war, enthält des Kennenswerten genug. Es ist wohl wert, an der Hand des Enkels zu verfolgen, wie der geborene Pommer in der alten Kaiserstadt an der Donau überraschend schnell Wurzel faßte und innerlich mit seinem neuen Vaterlande verwuchs, an dessen Schicksalen er auch als Mitglied des Reichsrates und dann des Herrenhauses warmen Anteil nahm. Auch seine freundschaftlichen Beziehungen zu dem Dichter HEBBEL und zu andern Wiener Größen verdienen Beachtung, ebenso seine eifrige Betätigung als geschmackvoller und erfolgreicher Sammler von Gemälden. Ganz neu dürften dem reichsdeutschen Leser BRÜCKES Verdienste um die Begründung des heute so mächtig emporgeblühten Wiener Kunstgewerbes sein. Anziehend und eindrucksvoll ist endlich das lebendig geschilderte Bild der Persönlichkeit dieses bedeutenden, merkwürdig vielseitigen und bei allem Selbstbewußtsein doch bescheidenen Vertreters einer wissenschaftlichen Epoche, der wir alle unendlich viel schuldig sind, und die doch allmählich dem Gedächtnis des heutigen Geschlechtes zu entschwinden droht.

J. GROSS, Neapel.

SCHULTZE JENA, LEONHARD, **Zur Kenntnis des Körpers der Hottentotten und Buschmänner.** Dritte (Schluß-)Lieferung des fünften Bandes (Systematik, Tiergeographie und Anthropologie) der „Zoologischen und Anthropologischen Ergebnisse einer Forschungsreise im westlichen und zentralen Afrika, ausgeführt in den Jahren 1903—1905". Jena: Gustav Fischer 1928. Mit 16 Abb. und 5 Kurvendarstellungen im Text und 18 Heliogravüren. 28×35 cm. Preis RM 34.50.

Von der Ansicht ausgehend, daß vor allen theoretischen Auseinandersetzungen und Überlegungen erst einmal an einem hinreichenden und seiner Herkunft nach einwandfreien Material die charakteristischen somatischen Merkmale der Hottentotten und Buschmänner und ihre Variationsbreite festgelegt werden müssen, gibt SCHULTZE JENA eine Übersicht über die hauptsächlichsten Körpermaße und Besonderheiten (Haut, Haar, Steatopygie, „Schürze" usw.) von 74 Hottentotten des Groß-Namalandes, 12 Buschmännern und 4 Bastarden zwischen beiden.

Hottentotten und Buschmänner stammen gemeinsam von einer alten ulotrichen-xanthodermen Stammgruppe ab und bilden gegenüber allen anderen Rassen des Menschengeschlechtes eine Rasseneinheit, für die der Name „Koïsan" vorgeschlagen wird. Gemeinsamer Rassenbesitz sind: braungelbe Hautfarbe, engspiraliges schwarzes Haar, Schürzenbildung, Steatopygie, enger Augenschlitz, breite und platte Weichteilnase. Dazu kommen als Skelettmerkmale: großer Augenabstand, platter Nasensattel, niedriges Gesicht und niedriger Schädel. Vom Hottentotten unterscheidet sich der Buschmann durch eine geringere Körpergröße, geringere Kopflänge und Kopfhöhe, vorwiegende Mesocephalie (die Hottentotten sind vorwiegend dolichocephal), extreme Niedrigkeit des Gesichts und extreme Breite der Nase.

Der Buschmann ist als eine Zwergform der alten Stammgruppe aufzufassen, die sich in normaler Wuchsform zum Hottentotten weiterentwickelte; es handelt sich dabei aber nicht um eine ursprüngliche Eigenart, sondern um eine nachträgliche Abweichung von der Größennorm des Menschen. Den Zwergwuchs selbst sieht SCHULTZE JENA nicht als ein Stehenbleiben auf kindlicher Entwicklungsstufe, sondern als eine quantitative Einschränkung des normalen Wachstumsablaufs an, weil die Körperproportionen nicht denen des kindlichen Typus, sondern denen des erwachsenen Menschen entsprächen.

Die Abhandlung, die mit ganz ausgezeichneten Abbildungen geschmückt ist, ist eine sehr wertvolle Bereicherung unserer Kenntnisse dieses über kurz oder lang dem Untergang geweihten Menschenschlags.

F. WEIDENREICH, Frankfurt a. M.

Physikalische Mitteilungen.

Absolute Wellenlängenbestimmungen der Röntgenstrahlen. Ein neuer Wert für die Elementarladung des Elektrons. Sämtliche bisher bekannten Werte der Röntgenwellenlängen, die Anspruch auf Genauigkeit erheben können, sind bestimmt nach der zuerst von den BRAGGS angegebenen Methode der selektiven Reflexion der Röntgenstrahlen an Krystallen. Die Bestimmung der Wellenlänge λ eines Röntgenstrahles erfolgt bekanntlich nach der Gleichung

$$n\lambda = 2d \sin \varphi ,$$

in der φ den Glanzwinkel der Krystallreflexion, d die Gitterkonstante des benutzten Krystalles und n eine ganze Zahl, die Ordnungszahl, bedeutet. Gemessen wird mit dem Spektrometer der Winkel φ. Um die Wellenlänge berechnen zu können, muß die Gitterkonstante d bekannt sein. Diese läßt sich, wenn die Struktur des betreffenden Krystalles erforscht ist, aus der Dichte und dem Molekulargewicht des Krystalles berechnen. Für einen Krystall wie NaCl mit kubischem Raumgitter ist

$$d = \sqrt[3]{\frac{M}{\varrho L}},$$

wo M das mittlere Atomgewicht

$$M = \frac{A_{Na} + A_{Cl}}{2} = \frac{35{,}47 + 23{,}00}{2} = 29{,}23$$

$\varrho = 2{,}164$ gr/cm³ die Dichte und $L = 6{,}06 \cdot 10^{23}$ die LOSCHMIDTsche Zahl bedeutet. Mit diesen Daten erhält man

$$d = 2{,}814 \text{ Å E.}$$

Unter Benutzung dieses Wertes sind die ersten Wellenlängenbestimmungen der Röntgenstrahlen von MOSELEY ausgeführt worden.

Die Verbesserung der Röntgenspektrometer, die insbesondere SIEGBAHN und seinen Schülern zu verdanken ist, brachte es mit sich, daß die Winkel φ mit immer wachsender Genauigkeit gemessen werden konnten. Dagegen war es zunächst nicht möglich, die Genauigkeit der Berechnung von d in demselben Maße zu steigern, weil die LOSCHMIDTsche Zahl L nicht genau genug bekannt ist. Bei dieser Sachlage hat SIEGBAHN vorgeschlagen, den Wert der Gitterkonstante des Steinsalzes bei 18° Cels. zu

$$d_{NaCl} = 2{,}81400 \text{ ÅE.}$$

willkürlich festzulegen und auf diesem Werte die Wellenlängenskala der Röntgenstrahlen aufzubauen. Diese Skala ist dann natürlich nur eine relative, sie kann von der absoluten abweichen, obwohl sicher ist, daß die etwa vorhandenen Abweichungen klein sein müssen.

Im weiteren Verlaufe der Untersuchungen stellte sich heraus, daß der NaCl-Krystall für Präzisionsmessungen ungeeignet ist. Wesentlich besser ist Kalkspath. Es wurde daher die Gitterkonstante des Kalkspaths ($CaCO_3$) von SIEGBAHN relativ zu dem angenommenen Werte für NaCl bestimmt und es ergab sich.

$$d_{CaCO_3,\ 18^\circ \text{ Cels.}} = 3{,}02904 \text{ ÅE.}$$

mit einer Abweichung von nur einigen Einheiten der letzten Dezimale relativ zur Steinsalzskala. Man kann nun fragen, wie groß vermutlich die Abweichungen dieser relativen Skala von der absoluten sein werden. Darüber erhält man Aufschluß, wenn man den Wert d_{CaCO_3} aus den besten zur Zeit zur Verfügung stehenden physikalischen Daten berechnet. Die genaueste Berechnung von d_{CaCO_3} ist von COMPTON, BEETS und DE FOE[1]

[1] A. H. COMPTON, H. N. BEETS und O. K. DE FOE, Physic. Rev. **25**, 625 (1925); H. N. BEETS, Physic. Rev. **25**, 621 (1925); O. K. DE FOE und A. H. COMPTON, Physic. Rev. **25**, 618 (1925); vgl. hierzu auch den Bericht von A. E. LINDH, Physik. Z. **28**, 24 u. 93 (1927).

durchgeführt worden. Für die LOSCHMIDTsche Zahl L, durch deren Fehler die größte Ungenauigkeit bei der Berechnung entsteht, wurde dabei nicht ein direkt gemessener, sondern aus anderen Daten möglichst genau berechneter Wert zugrunde gelegt. Es ist

$$L = \frac{A \cdot c}{10 \cdot e \cdot E} \qquad (1)$$

worin bedeutet:

A = Atomgewicht des Silbers = 107,88;
c = Lichtgeschwindigkeit = $2{,}9986 \cdot 10^{10}$ cm/sec;
e = Elementarladung des Elektrons nach MILLIKAN = $[4{,}774 \pm 0{,}005] \cdot 10^{-10}$ elstat. c. g. s. Einh.
E = elektrochemisches Äquivalent des Silbers = 0,00111827 g.

Hieraus erhält man

$$L = [60{,}594 \pm 0{,}063] \cdot 10^{22}.$$

Der Fehler rührt wesentlich her von dem Fehler des MILLIKANschen e-Wertes.

Die Gitterkonstante des Kalkspaths erhält man nun nach der Formel

$$d_{CaCO_3} = \sqrt[3]{\frac{M}{2\,\varrho\,L \cdot V}} \qquad (2)$$

in der bedeutet:

M = Molekulargewicht des $CaCO_3$ = 100,075 ± 0.03;
V = Volumen eines Kalkspatshomboeders mit dem Abstand 1 cm zwischen den Spaltflächen bei 20° = 1,09630 ± 0,00007 cm³;
ϱ = Dichte des Kalkspaths bei 20° = 2,7102 ± 0,0004 g/cm³.

Es ergibt sich

$$d_{CaCO_3,\ 20^\circ\,Cels.} = 3{,}0291 \pm 0{,}0010\ \text{ÅE}.$$

und mit dem Wert $\alpha = 0{,}0000104$ für den Ausdehnungskoeffizienten des Kalkspaths rechtwinklig zu den Spaltflächen ergibt sich

$$d_{CaCO_3,\ 18^\circ\,Cels.} = 3{,}02904\ \text{ÅE}. \pm 0{,}33^0/_{00}.$$

Obwohl die beiden letzten Dezimalen keinen Anspruch auf Richtigkeit erheben können, ergibt sich doch, daß der berechnete Wert der Gitterkonstante des $CaCO_3$ innerhalb der Fehlergrenzen übereinstimmt mit dem angenommen Werte, der zur relativen Festlegung der Wellenlängenskala benutzt ist. Der mögliche Unterschied zwischen der bisher angenommenen Skala und der absoluten Skala rührt also hauptsächlich von dem Fehler her, der in der Bestimmung des MILLIKANschen e-Wertes noch enthalten sein kann. Es muß daher als außerordentlich wichtig bezeichnet werden, wenn es gelingen sollte, die Wellenlängenskala der Röntgenwellen absolut festzulegen. Denn wenn wir diese absolute Skala haben, können wir auf dem umgekehrten Rechenwege über die Gitterkonstante des Kalkspaths und die LOSCHMIDTsche Zahl die Elementarladung des Elektrons berechnen.

In der Tat hat sich nun in neuester Zeit ein Weg eröffnet, der eine absolute Messung der Röntgenwellenlängen gestattet. Die Methode ist im Prinzip dieselbe, die auch bei den Wellenlängen des optischen Spektralgebietes benutzt wird: Es gelingt nämlich, die Röntgenwellenlängen mit einem gewöhnlichen optischen Gitter zu messen, dessen Gitterkonstante leicht direkt ausgemessen oder aus der Beugung sichtbarer Wellenlängen beliebig genau bestimmt werden kann. Um eine Beugung der Röntgenwellen an einem solchen Gitter zu erreichen, muß man einen Kunstgriff anwenden. Läßt man nämlich die Röntgenstrahlen, wie es bei den Anordnungen im gewöhnlichen optischen Spektralgebiete üblich ist, nahezu senkrecht auf das Gitter auffallen, so erhält man keine nennenswerte Reflexion oder Beugung, weil die Röntgenstrahlen, wenn sie sehr hart sind, einfach durch die Gitterplatte hindurchgehen, oder in ihr mehr oder weniger absorbiert werden. Reflexion der Röntgenstrahlen und zwar Totalreflexion kann man aber erhalten, wenn man das Röntgenlicht — und darin besteht der erwähnte Kunstgriff — nahezu streifend auf eine Spiegelplatte aus Metall oder Glas auftreffen läßt. Nach der Dispersionstheorie ist nämlich der Brechungsindex μ jedes Materials für kurzwellige Röntgenstrahlen kleiner als 1. Es ist

$$\delta = 1 - \mu = \frac{N e^2}{2\pi m \nu^2} = 1{,}35 \cdot \varrho \cdot \lambda^2 \cdot 10^{10},$$

wo N die Anzahl der Elektronen pro Volumeneinheit, ϱ die Dichte der betreffenden Substanz, e die Ladung, m die Masse des Elektrons, ν die Frequenz und λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist. Für Röntgenstrahlen ist also der leere Raum optisch dichter als jede Substanz. Es gibt infolgedessen einen Winkelbereich der Totalreflexion, und zwar ist der Grenzwinkel φ_t der Totalreflexion gemessen als Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Ebene der Spiegelplatte gegeben durch die Beziehung

$$\sin \varphi_t = \sqrt{2\,\delta}.$$

Dieser Winkel ist stets klein. Nehmen wir z. B. an, daß es sich um eine Spiegelplatte aus Glas handelt, für die ϱ etwa 2,5 ist und setzen wir $\lambda = 8{,}3$ ÅE., was der Wellenlänge der K_α-Linie von Aluminium entspricht, die bei den weiterhin zu beschreibenden Versuchen eine besondere Rolle spielt, so wird

$$\varphi_t = 1^\circ 14'.$$

Für Einfallswinkel $\varphi < \varphi_t$ haben wir also Totalreflexion an einer Glasplatte zu erwarten.

Diese Totalreflexion ist zuerst von COMPTON[1] tatsächlich nachgewiesen worden. Es liegt nun der Gedanke nahe, statt eines gewöhnlichen Spiegels ein optisches Gitter zu verwenden. Man wird dann erwarten, bei genügend kleinen Glanzwinkeln nicht nur den totalreflektierten Strahl, sondern auch Beugungsbilder zu erhalten. Die ersten diesbezüglichen Versuche sind von CARRARA[2] mit negativem Erfolge ausgeführt worden, dann aber ist es COMPTON und DOAN[3] mit einer derartigen Anordnung gelungen, außer dem reflektierten Strahl auch Beugungsspektren der Röntgenwellen zu erhalten. Diese Verfasser konnten so die Wellenlänge von MoK_α absolut messen und erhielten einen Wert, der innerhalb der noch relativ weiten Fehlergrenze mit dem nach der Krystallmethode bestimmten Werte übereinstimmt. Diese Methode der Erzeugung des Röntgenspektrums ist dann von THIBAUD weiter ausgebaut worden, insbesondere hat THIBAUD[4] dies Verfahren angewandt zur Messung von Wellenlängen im Zwischengebiet zwischen den längsten Röntgenwellen und den kürzesten extrem ultravioletten Wellen. In

[1] A. H. COMPTON, Physic. Rev. **20**, 84 (1922).
[2] N. CARRARA, Cim. **1**, 107 (1924).
[3] A. H. COMPTON und R. L. DOAN, Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. **11**, 598 (1925).
[4] J. THIBAUD, Physik. Z. **29**, 241 (1928).

der Tat ist es ihm gelungen, die Lücke zwischen diesen beiden Spektralgebieten fast ganz auszufüllen, ein Erfolg, den noch vollständiger auch OSGOOD[1] unter Verwendung eines Konkavgitters und mit ähnlicher Vollkommenheit wie THIBAUD auch DAUVILLIER[2] nach der Krystallmethode unter Benutzung von Fettsäurekrystallen mit sehr großen Gitterkonstanten erzielt haben. Da die diesbezüglichen Untersuchungen an mehreren, dem deutschen Leser leicht zugänglichen Stellen[3] ausführlich beschrieben sind, wollen wir hier auf dieselben nicht näher eingehen.

Die Methode der absoluten Wellenlängenbestimmung der Röntgenstrahlen mit Hilfe eines optischen Gitters bei nahezu streifendem Einfall ist nun neuerdings von ERIK BÄCKLIN[4] im Laboratorium von SIEGBAHN zu einer Präzisionsmethode ausgearbeitet worden.

Die von BÄCKLIN benutzte Anordnung ist schematisch in Fig. 1 dargestellt. Aus dem von der Antikathode Ak ausgehenden Röntgenlichtkegel wird durch den Spalt S von 0,032 mm Breite ein schmales Bündel ausgesondert, das unter dem kleinen Winkel φ auf das Gitter G auftrifft, das drehbar auf einen Spektrometertisch aufgestellt ist. Dem Gitter steht in einem Abstande von 0,010 mm eine Stahlschneide E gegenüber, die ähnlich wie bei den SEEMANschen Schneidenspektrographen als zweiter Spalt wirkt. Im Abstande R vom Drehpunkt des Gitters wird die photographische Platte P aufgestellt. Auf dieser wird zunächst der Durchstoßpunkt O des direkten Strahles in der Weise erhalten, daß man eine kurze Exposition bei Parallelstellung des Gitters zum einfallenden Strahl macht. Dann wird das Gitter um den Winkel φ gedreht und man erhält nun bei C den direkt reflektierten Strahl und bei α_1, α_2 die Beugungsspektren der verschiedenen Ordnungen.

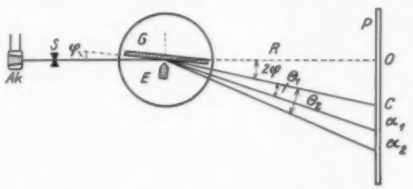

Fig. 1. Schema der Versuchsanordnung zur Erzeugung von Röntgenspektren mit einem optischen Gitter.

Aus den Abständen OC, $O\alpha_1$, $O\alpha_2$ auf der Platte und dem Abstande R der Platte vom Drehpunkt des Gitters lassen sich dann der Winkel φ und die Winkel Θ_1, Θ_2, die die gebeugten Strahlen der verschiedenen Ordnungen mit dem direkt reflektierten Strahle bilden, leicht berechnen. Die Wellenlänge ergibt sich dann aus der als Gittergleichung bekannten Formel

$$n\lambda = d(\sin\alpha - \sin\beta)$$

in der α der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Normalen des Gitters und β der Winkel zwischen dem gebeugten Strahl und der Normalen des Gitters bedeutet. Diese Gleichung nimmt hier die Form an,

$$n\lambda = d[\cos\varphi - \cos(\varphi + \Theta)],$$

aus der sich λ berechnen läßt, wenn d, φ und Θ aus den Messungen bekannt sind.

Als Gitter verwendete BÄCKLIN ein NOBERTsches Glasgitter mit etwa 220 Furchen/mm und einer geritzten Fläche von 20 × 20 mm. Es ist vielleicht nicht uninteressant, hier eine kleine historische Bemerkung einzufügen. F. A. NOBERT war ein Mechaniker, der in der Mitte des vorigen Jahrhunderts in dem kleinen Orte Barth in Pommern lebte. Er war der erste, der sich etwa 20 Jahre nach FRAUENHOFERS berühmten Versuchen wieder damit beschäftigt hat, Gitter herzustellen. Er wollte diese Gitter zunächst dazu benutzen, die Leistungsfähigkeit der Mikroskope zu prüfen, mit deren Verbesserung er sich beschäftigte. Hierüber sind von ihm zwei Arbeiten in Poggendorfs Annalen[1] publiziert worden. NOBERT hat dann mit der von ihm konstruierten Maschine für spektroskopische Zwecke eine größere Zahl von Glasgittern hergestellt und dieselben käuflich in den Handel gebracht. Mit solchen NOBERTschen Gittern hat ÅNGSTROEM[2] im Jahre 1868 seine berühmten Wellenlängenmessungen im Sonnenspektrum ausgeführt. Auf diese Weise ist auch das jetzt von BÄCKLIN benutzte Gitter nach Upsala gekommen. Es dürfte wohl ein in der Physik einzigartig dastehender Fall sein, daß ein etwa im Jahre 1850 hergestellter physikalischer Apparat im Jahre 1928 zur Ausführung einer Präzisionsmessung verwendet werden kann.

Der von BÄCKLIN benutzte, für den vorliegenden Zweck besonders gebaute Spektrograph ist den SIEGBAHNschen Vakuumspektrographen sehr ähnlich, nur daß eben auf dem drehbaren Tisch das Glasgitter an Stelle des Krystalles aufgestellt ist. Die Wellenlängenbestimmung ist durchgeführt worden an der K_α-Linie von Aluminium. Diese Linie wurde gewählt, weil sie die langwelligste Röntgenlinie ist, deren Wellenlänge nach der Krystallmethode von HJALMAR und LARSSON präzisionsmäßig gemessen ist. Eine möglichst langwellige Linie ist von Vorteil, weil dann die Winkel Θ möglichst groß werden und sich genauer bestimmen lassen. In der Arbeit von BÄCKLIN sind nun ausführliche und ins einzelne gehende Angaben enthalten über die Konstruktion und die Justierung des Spektrographen. Weiterhin werden genau die geometrischen Verhältnisse des Strahlenganges und die Berechnung der verschiedenen anzubringenden Korrektionen diskutiert. Sodann werden die Resultate der Messungen ausführlich wiedergegeben, so daß man sich ein Urteil über die erreichte Genauigkeit bilden kann. Auf diese Einzelheiten hier einzugehen, würde natürlich zu weit führen, wir reproduzieren hier nur in Fig. 2 eine Aufnahme von AlK_α, auf der die Linie in der ersten, zweiten und dritten Ordnung deutlich zu erkennen ist. Auf der Originalplatte hat sich die Linie sogar bis zur sechsten Ordnung vermessen lassen. Man sieht, daß die Linien sehr scharf sind und sicher eine genaue Vermessung gestatten.

Das Resultat der Untersuchung ist folgendes: Als Mittelwert aus 31 Einzelbestimmungen ergibt sich für die absolute Wellenlänge von AlK_α

$$\lambda = 8{,}333 \pm 0{,}0033 \text{ ÅE},$$

wobei der angegebene Fehler der mittlere Fehler der einzelnen Bestimmung ist. Unter Hinzurechnung von drei systematischen Fehlern ergibt sich der Gesamtfehler zu $\pm$ 0,008 oder $\pm$ 1‰.

[1] T. H. OSGOOD, Physic. Rev. **30**, 567 (1928).
[2] M. A. DAUVILLIER, J. Physique **8**, 1 (1927).
[3] J. THIBAUD, l. c., A. H. COMPTON, Z. f. techn. Physik **8**, 530 (1927).
[4] ERIK BÄCKLIN, Inaug.-Diss., Upsala Universitets Arsskrift 1928, Matematik och Naturvetenskap. 2.

[1] F. A. NOBERT, Pogg. Ann. **67**, 173 (1846) und **85**, 80 u. 83 (1852), s. auch F. KAYSER, Handbuch der Spektr. Bd. I, S. 402.
[2] A. J. ÅNGSTRÖM, Recherches sur le spektre Solaire. Upsala 1868.

HJALMAR und LARSSON erhielten bei der Präzisionsbestimmung nach der Krystallmethode für dieselbe Linie

$$\lambda_0 = 8{,}3218 \pm 0{,}0008\,,$$

also mit einem Fehler von $\pm 0{,}1^0/_{00}$ relativ zu der angenommenen Kalkspatskala.

Dies Resultat besagt also, daß der angenommene Wert d_0 für die Gitterkonstante nicht ganz richtig sein kann. Der richtige absolute Wert d ist

$$d = d_0 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_0} = 3{,}02904 \cdot \frac{8{,}333}{8{,}3218} = 3{,}033\ \text{Å E} \pm 1^0/_{00}.$$

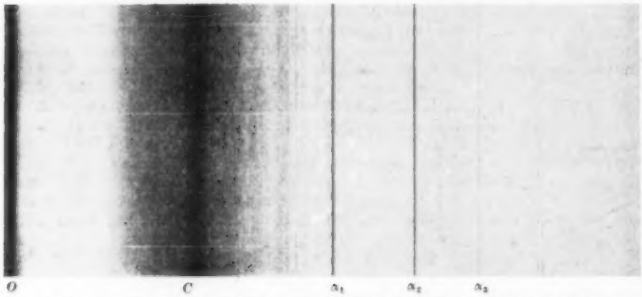

Fig. 2. Spektralaufnahme von AlKα in der 1. 2. und 3. Ordnung.

Hieraus können wir nun nach Formel (2) die LOSCHMIDTsche Zahl L und nach Formel (1) die Elementarladung des Elektrons berechnen. Es ergibt sich

$$L = 60{,}35 \cdot 10^{22} \pm 3^0/_{00}$$
$$e = 4{,}793 \cdot 10^{-10} \pm 3^0/_{00}$$

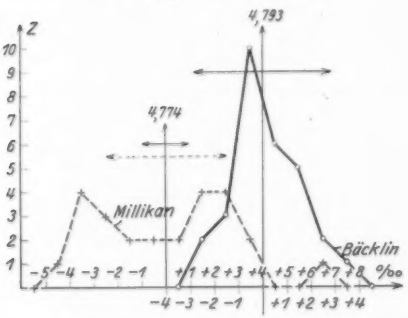

Fig. 3. Die Verteilung der Fehler der e-Bestimmungen von MILLIKAN und BÄCKLIN.

Der letztere Wert weicht von dem MILLIKANschen

$$e = 4{,}774 \cdot 10^{-10} \pm 1^0/_{00}$$

nicht unerheblich ab. Um beurteilen zu können, ob die beiden Werte innerhalb der angegebenen Fehlergrenzen noch miteinander vereinbar sind, ist zu bedenken, daß der von MILLIKAN angegebene Fehler von $0{,}4^0/_{00}$ der wahrscheinliche Fehler dieses Mittelwertes ist, während der für den neuen Wert angegebene Fehler dem mittleren Fehler der einzelnen Bestimmung entspricht. BÄCKLIN hat nun auch für den MILLIKANschen Wert diesen Fehler aus der von MILLIKAN mitgeteilten Beobachtungsreihe berechnet und erhält unter Hinzurechnung von zwei systematischen Fehlern den Wert $\pm 2{,}6^0/_{00}$. Die relative Lage der beiden Werte und die Verteilung der Fehler veranschaulicht Fig. 3. In dieser ist als Abszisse eine e-Skala aufgetragen, auf der die beiden Mittelwerte markiert sind. Als Ordinaten ist die Zahl z der Einzelbeobachtungen eingetragen, die in die einzelnen Intervalle $0-1^0/_{00}$, $1-2^0/_{00}$ usw. beiderseits der betreffenden Mittelwerte fallen. Die Fehlergrenzen sind durch Pfeile gekennzeichnet, wobei der gestrichelte Pfeil des MILLIKANschen Wertes dem mit dem BÄCKLINschen Pfeil vergleichbaren mittleren Fehler der einzelnen Bestimmung entspricht. Wie man sieht, überlagern sich die Fehlergrenzen. Man sieht aber auch, daß sich bei der BÄCKLINschen Kurve die Einzelwerte besser um den Mittelwert gruppieren als bei MILLIKAN. Die zufälligen Fehler sind also bei BÄCKLIN offensichtlich kleiner als bei MILLIKAN.

Es wäre wohl voreilig, dem neuen BÄCKLINschen Wert bereits jetzt schon den Vorzug vor dem MILLIKANschen Wert zu geben und z. B. eine Neuberechnung der weiteren physikalischen Konstanten, die sich aus dem e-Wert ableiten lassen, mit diesem neuen Werte vorzunehmen. Sehr wahrscheinlich wird sich nämlich die Genauigkeit der BÄCKLINschen Methode noch steigern lassen, und man wird sicher gut tun, das Resultat weiterer Bestimmungen abzuwarten, ehe man weitgehende Schlußfolgerungen zieht. Immerhin dürfte es aber doch von Interesse sein, wenigstens das PLANCKsche Wirkungsquantum mit Hilfe des neuen e-Wertes und anderer in letzter Zeit neu bestimmter Konstanten zu berechnen. Nach der BOHRschen Theorie ist

$$h = \sqrt[3]{\frac{2\pi^2 m e^4}{c \cdot R_\infty}},$$

in der R_∞ die RYDBERGfrequenz für ein Atom mit der Masse ∞ bedeutet. Schreiben wir die Formel in der Form

$$h = \sqrt[3]{\frac{2\pi^2 \cdot e^5}{c^2 \cdot R_\infty \cdot \frac{e}{m \cdot c}}},$$

so können wir h aus folgenden Daten berechnen

$e = (4{,}793 \pm 0{,}015) \cdot 10^{-10}$ BÄCKLIN;
$c = (2{,}99796 \pm 0{,}00004) \cdot 10^{10}$ MICHELSON[1];
$R_\infty = 109737{,}11 \pm 0{,}06$ PASCHEN[2];
$\frac{e}{m \cdot c} = (1{,}7679 \pm 0{,}0018) \cdot 10^7$ F. WOLF[3].

Es ergibt sich

$$h = (6{,}591 \pm 0{,}036) \cdot 10^{-27}.$$

W. GROTRIAN.

[1] A. MICHELSON, Astrophysik. J. **65**, 1 (1927).
[2] F. PASCHEN, Ann. Physik **50**, 901 (1916).
[3] F. WOLF, Ann. Physik **83**, 849 (1927).

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.